



Tecnologias de Redes de Comunicações

2006/2007

As tecnologias xDSL

Fernando M. Silva

Fernando.Silva@ist.utl.pt

Instituto Superior Técnico

Sumário

- Introdução
- Tecnologias de par metálico
- Classificação das tecnologias de par metálico

- DSL - Digital Subscriber Line
- Objectivo
 - Possibilitar larguras de banda elevadas usando de pares de cobre
 - Permitir a utilização da extensa base de cobre existente
 - Resolver o problema da *last mile* (chegar aos consumidores finais, domésticos e empresariais) usando infraestruturas existentes e dispensando a instalação de novas infra-estruturas caras (sobretudo na fase de instalação)

- De um modo geral, deigna-se por DSL (*Digital Subscriber Line*) as tecnologias de transmissão digital na linha do assinante entre o equipamento terminal e a central.
- Suportadas em par de cobre entrançado
- Permitem débitos elevados aos consumidores domésticos com reduzido investimento em infra-estruturas.
- Com o progressivo crescimento das larguras de banda oferecidas ao utilizador final, as tecnologias xDSL, embora inicialmente pensadas para as ligações dados do consumidor doméstico, estão também a estender-se às filosofias "triple-play" (voz, dados e TV sobre um canal único).

- Origem na década de 60 nos Bell Labs,
- Objectivos
 - Digitalização das redes telefónicas (finais da década de 70/década de 80)
 - A tecnologia tinha como objectivo interligar sobretudo centrais com sinais, possibilitando ligações digitais de alto desempenho usando a ampla infraestrutura de cobre existente.
- DS1 (Digital Signal 1 ou T1) é um sistema de sinalização desenvolvido nos Bell Labs para ligação de dados a ”alta” velocidade sobre par de cobre (1,544 Mbit/seg).
 - Nota: formalmente DS1 é um protocolo usado sobre uma ligação física T1.

- Na Europa, o ETSI definiu uma interface ligeiramente diferente (e com maior débito) designada por E1.
- T1 e E1 foram durante muitos anos (e ainda são) a forma preferencial de interligar centrais digitais de operadores ou centrais de operadores e centrais de grandes clientes.
- Na Europa, a interface E1 em voz suporta 30 canais de voz a 64Kbit/seg (além de dois adicionais para sincronização e sinalização).
- Estas interfaces foram ainda usadas para a ligação de redes de dados empresariais à dorsal (*backbone*) de peradores em larguras de banda múltiplas de 2Mbits/s.

Generalização das tecnologias xDSL

- Inicialmente, as interfaces T1 e E1 não eram usadas para a ligação doméstica por dois motivos:
 - Eram geradoras de interferências que afectavam equipamentos domésticos
 - Exigiam a instalação de repetidores a cada 1100 metros, o que as tornava pouco práticas e caras.
- A necessidade de encontrar alternativas para os convencionais modems analógicos, cuja largura de banda sobre canal telefónico estava limitada a 64Kbit/seg, levou à introdução de várias variantes de DSL que, conjuntamente, vieram a ser conhecidas por xDSL.
- As novas variantes de xDSL tiveram origem nos Bell Labs na década de 80, apesar da sua generalização, sobretudo no mercado doméstico, só tenha acontecido a partir do final da década de 90.

- HDB3 e T1/E1
- ISDN e IDSL
 - ISDN - Integrated Services Digital Network
 - IDSL ISDN Digital Subscriber Line
- HDSL
 - High Data rate Digital Subscriber Line
- ADSL, UDSL/ADSL Lite, ADSL2, ADSL2+
 - ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line
 - UDSL - Unsplitted Digital Subscriber Line
- SHDSL / SDSL
 - Symmetric High Bit Digital Subscriber Loop
- VDSL, VDLS2
 - Very High Data Rate Digital Subscriber Line

- As interfaces T1/E1 são as mais antigas e encontram-se ainda em exploração
- T1 (USA e Canadá)
 - 1,544Mbit/seg
 - 24 canais de 64Kbit/seg (DS0). O conjunto forma um canal DS1.
 - Alcance de cerca de 800 metros em cabo AWG 26
 - * AWG é uma especificação americana de cabos de cobre e 26 refere o calibre (cerca de 0,4 mm de diâmetro) e tem associada uma dada resistividade e indutância.
 - E1 (Europs)
 - * 2,048Mbit/seg
 - * 30 canais 64Kbit/s
 - * 1 slot (equivalente a 64Kbit/seg) usado para sinalização
 - * 1 slot (equivalente a 64Kbit/seg) usado para sincronização
 - * Alcance de 1Km em cabo de 0,4mm.
- Problemas, alcance reduzido, elevado ruído resultante da codificação usada (AMI)
- Substituição por HDSL e SDLS

- ISDN (RDIS) foi a primeira interface digital doméstica
 - Estruturada em dois canais B de 64Kbit/s e um canal D de controlo de 16Kbit/s, gerando um total de 144Kbit/s
 - Códigos de linha:
 - * 4B3T - 4 (four) Binary 3 (three) Ternary
 - * 2B1Q - 2 (two) Binary 1 (one) Quaternary
- IDSL baseada na interface U da Interface básica RDIS
 - Um único canal de 144Kbit/s, simétrico

High data rate Digital Subscriber Line

- Objectivo: substituição do E1/T1
 - T1 - Dois pares
 - E1 - Três Pares
- Menos largura de banda
- Transmissão em modo simétrico de 1544Kbit/s ou 2048Kbit/s em linhas até 4.5 Km.
- O maior número de pares representa um uso ineficiente da infra-estrutura e torna-o candidato a ser substituído pelo SDSL

- Vocacionado para o mercado residencial
- Pode atingir 8Mbit/seg no sentido descendente (download), 1Mbit/seg no ascendente (upload).
- Baseado no par de cobre telefónico convencional
- Variantes
 - UDSL /ADSL Lite / G.Lite
Largura de banda de 1.5Mbit/s - 500Kbit/s
Não requer a instalação do splitter
 - ADSL2 - Largura de banda de 1.1Mhz, 12Mbit/seg (d)
 - ADSL2+ - Largura de banda de 2.2Mhz, 24Mbit/s (d)

Symmetric High bit rate Digital Subscriber Line

- Evolução do HDSL
- Usa apenas um par de cobre para implementar um canal T1 ou E1
- Prevê a negociação inicial do tipo de serviço e ritmo de transmissão
Suporte entre 192Kbit/s e 2360Kbit/seg (simétricos)
- Distância até 3Km
- Apesar de ritmos mais baixos que o ADSL/downstream, tem a vantagem de permitir ritmos simétricos num único par.

VDSL

Very High Data Rate Digital Subscriber Line

- 52Mbit/s (down), 2Mbits (up)
- Distâncias até 300m
- Preserva POTS
- Variante: VDSL2
 - 100Mbit/s (down), 50Mbit/s (up)
 - Aplicável em sistemas FTTB, FTTC (fiber to the building, fiber to the cabinet), em que o sinal é distribuído em fibra até à proximidade do cliente final.

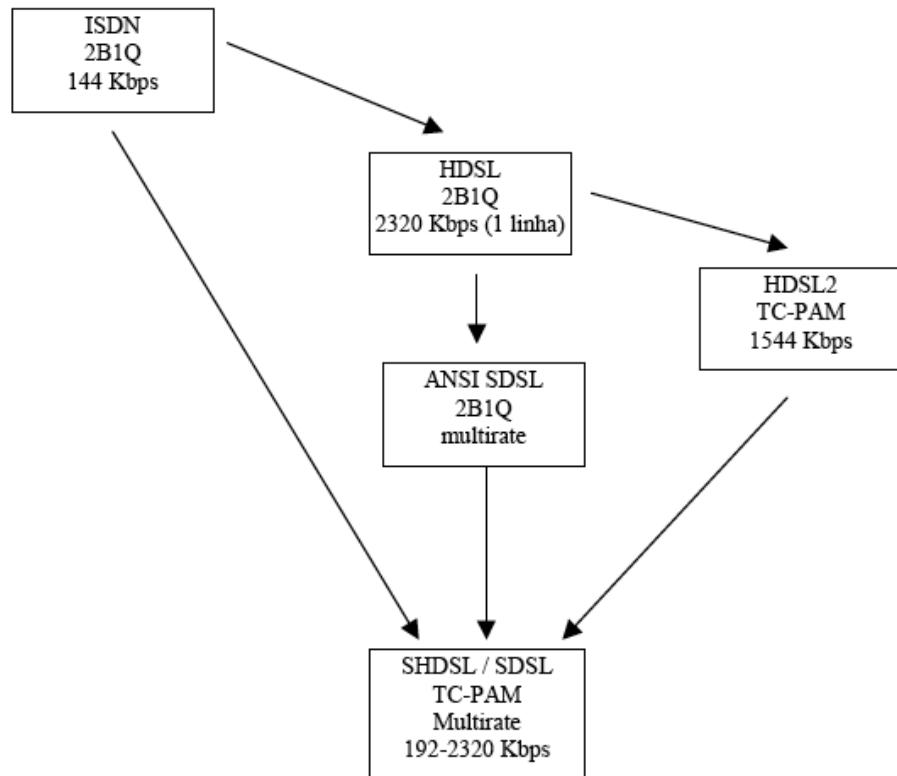
Resumo

xDSL	Ritmo	Nota
IDSL	144Kbit/s, simétrico	Interface U da interface básica RDIS
ADSL	D:1.5 a 8Mbit/s, U: 16 a 640Kbit/s	Mercado residencial e PMEs
UDSL/ADSL Lite	D:1.5Mbit/s U: 500Kbit/s	não tem splitter
ADSL2	12 Mbit/seg (down)	
ADSL2+	24Mbit/seg (down)	
HDSL	ETSI: 2048Mbit/s EUA: 1544Mbit/s	Canal simétrico full duplex, em 2 ou 3 pares.
SHDLS/SDLS	192Kbit/s a 2.3Mbit/s	simétrico
VDSL	Max 52Mbit/s	Curta distância
VDSL2	Max 100Mbits/s	

Utilização do espectro de algumas tecnologias DSL



Evolução das tecnologias DSL simétricas



High Data Rate Digital Subscriber Line

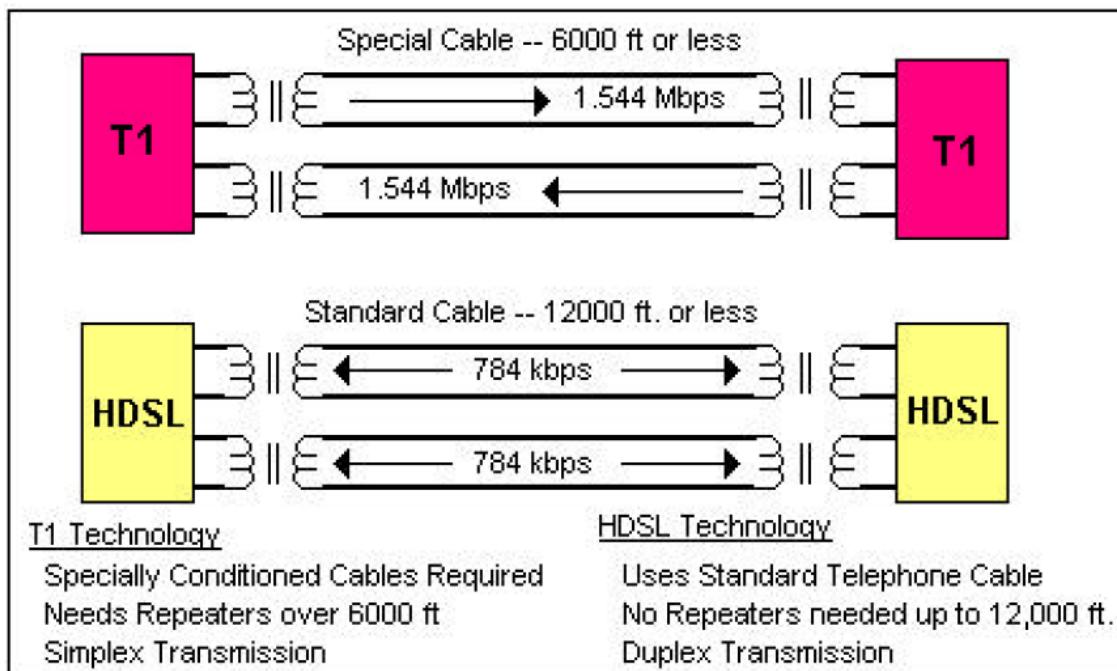
Recomendação ITU-T G991.1

Largura de banda muito reduzido devido a técnicas de modulação mais avançadas
(80 a 240KHz em vez de 1.5Mhz)

Origem: Início da década de 90

- Desenvolvida pelo Comité ANSI T1
 - Ritmo de 1544Kbit/s simétricos (suporte interface T1)
 - Usada sobretudo nos USA e Canadá
 - 784Kbit/s num único par
 - 1544Kbit/s em dois pares
- Adaptada na Europa pelo ETSI (ETR 152)
 - Ritmo de 2Mbits (suporte de interface E1)
 - Geralmente usada em dois pares (2x1168Kbit/s)
 - Variantes em um par ou três pares (1 a 784Kbit/s, 3 a 2320Kbit/s)
 - Permite utilização parcial em caso de perda de um par

HDSL vs T1



- PAM (Pulse Amplitude Modulation), 2B1Q
 - 2 Binary, 1 - Quaternary
- CAP (Carrierless Amplitude/Phase Modulation)
 - Variante de QAM, com supressão de portadora
 - Atualmente, geralmente substituída pela Discrete MultiTone Modulation (DMT)

Codificação 2B1Q

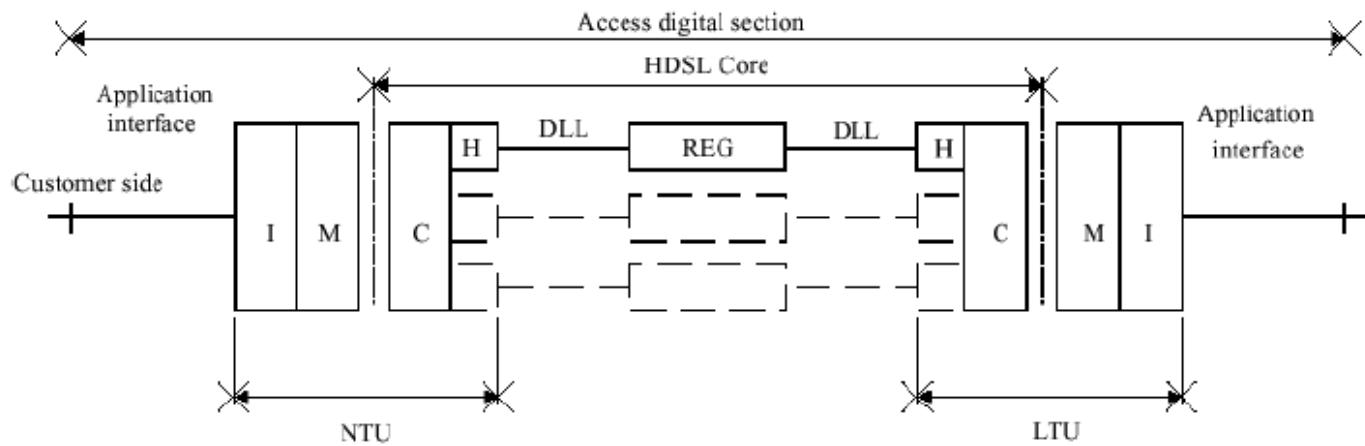
- 2B1Q - 2 Binary, one Quaternary
- Cada conjunto de dois bits é codificado com um nível diferente

1o bit	2o bit	Símb. Quat	Nível (V)
1	0	+3	+2.5V
1	1	+1	+0.8V
0	1	-1	-0.8V
0	0	-3	-3.0V

Nota: Baud-rate - Taxa de símbolos / segundo

Qual a taxa de símbolos (baud-rate de uma codificação 2B1Q) ?

Diagrama funcional



C - Common circuitry

I - Interface

REG - Regenerator

NTU - Network Termination Unit

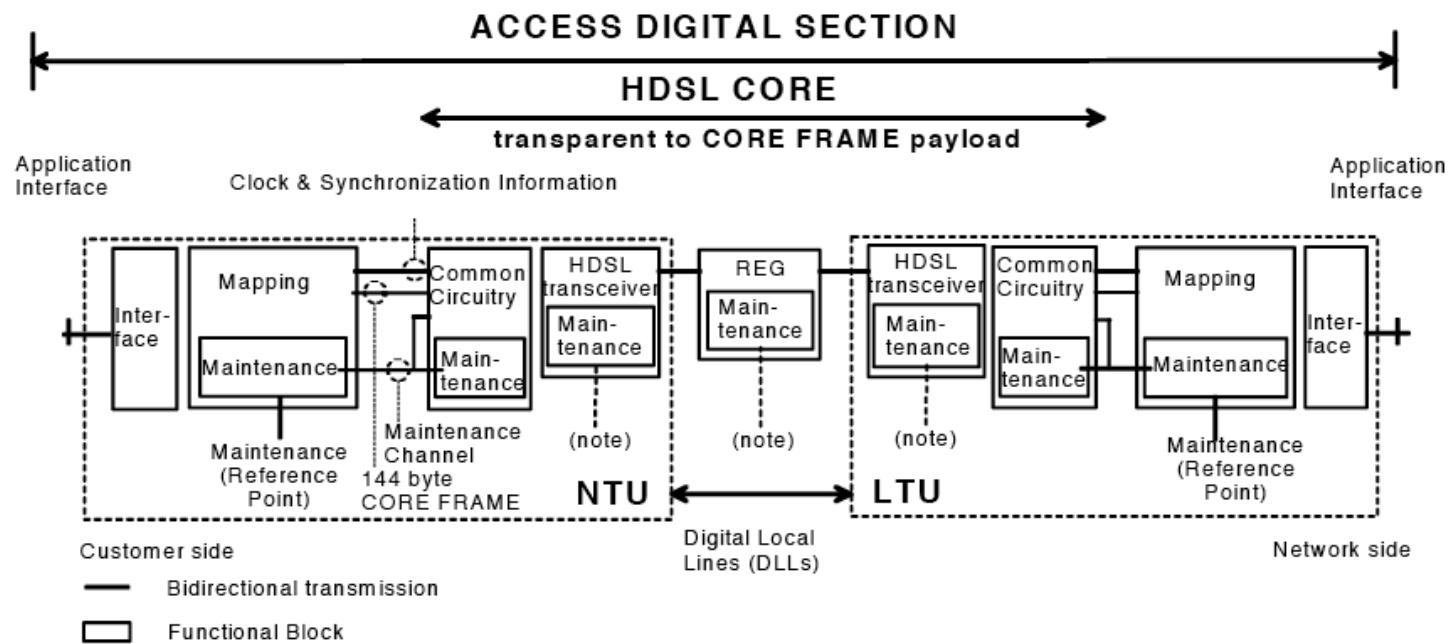
H - HDSL transceiver

M - Mapping

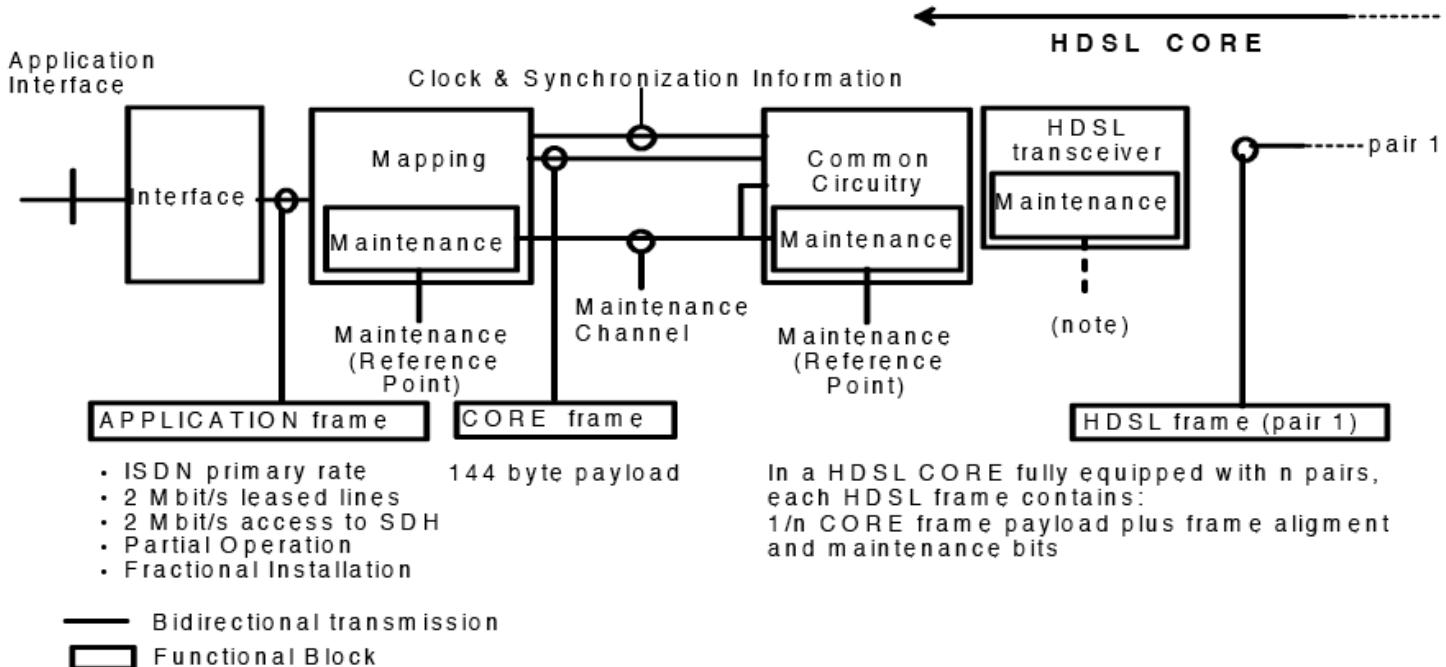
DLL - Digital Local Line

LTU - Line Termination Unit

Detalhe



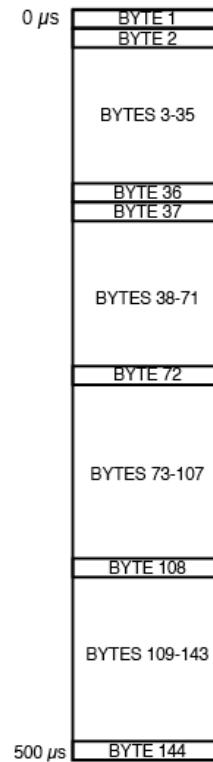
Transmissão



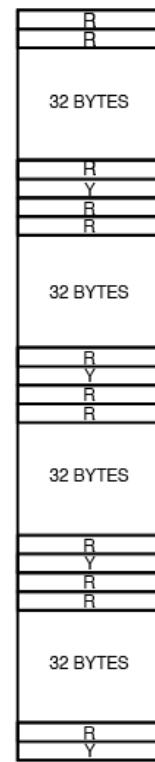
Nota: o sistema pode incluir 1, 2 ou 3 conjuntos de Transceiver/Linha

Tramas HDSL *core*

O formato específico das tramas *core* depende da aplicação



a)
Byte # of Core Frame



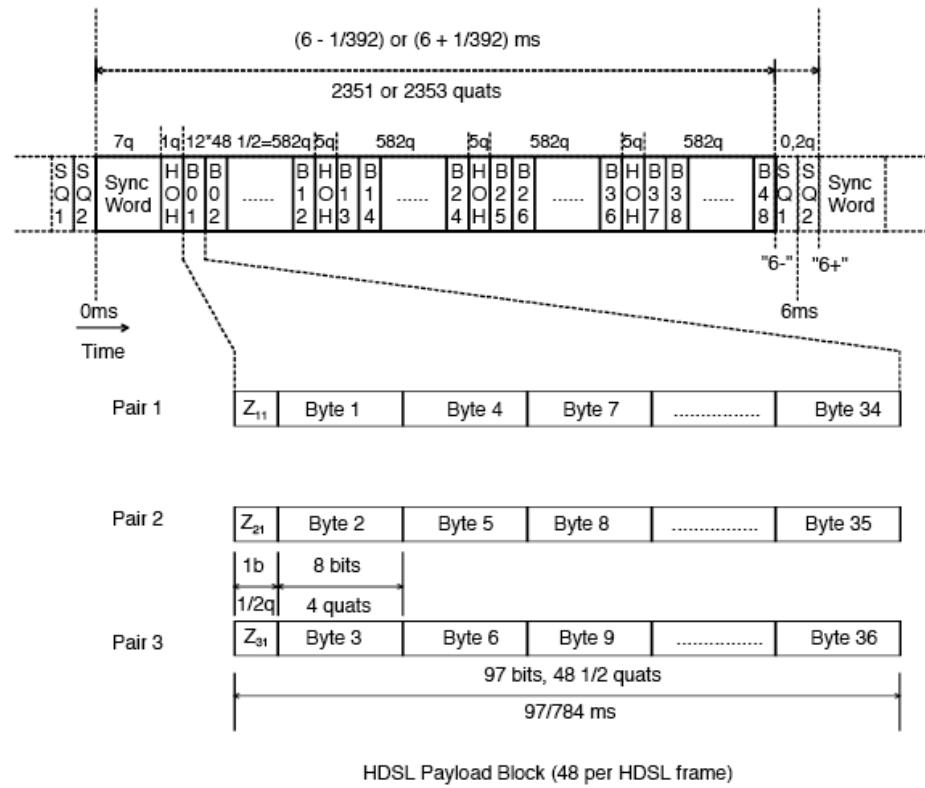
b)
Asynchronous mapping
R,Y = Fixed Stuffing

Cada trama transporta 144 bytes

Ritmo de transmissão

- Tramas *core*
 - 144 Bytes
 - $144 \times 8 = 1152$ bits
 - $500\mu s$
 - Ritmo = $1152/500\mu s = 2304$ kbit/s

Tramas HDSL (3 pares)



B01 a B048 - Payload

HOH - Overhead

Sync word (double Barker) +3, +3, +3,-3,-3,+3,-3

SQ1,SQ2 Stuff

Tramas HDSL - Ritmo

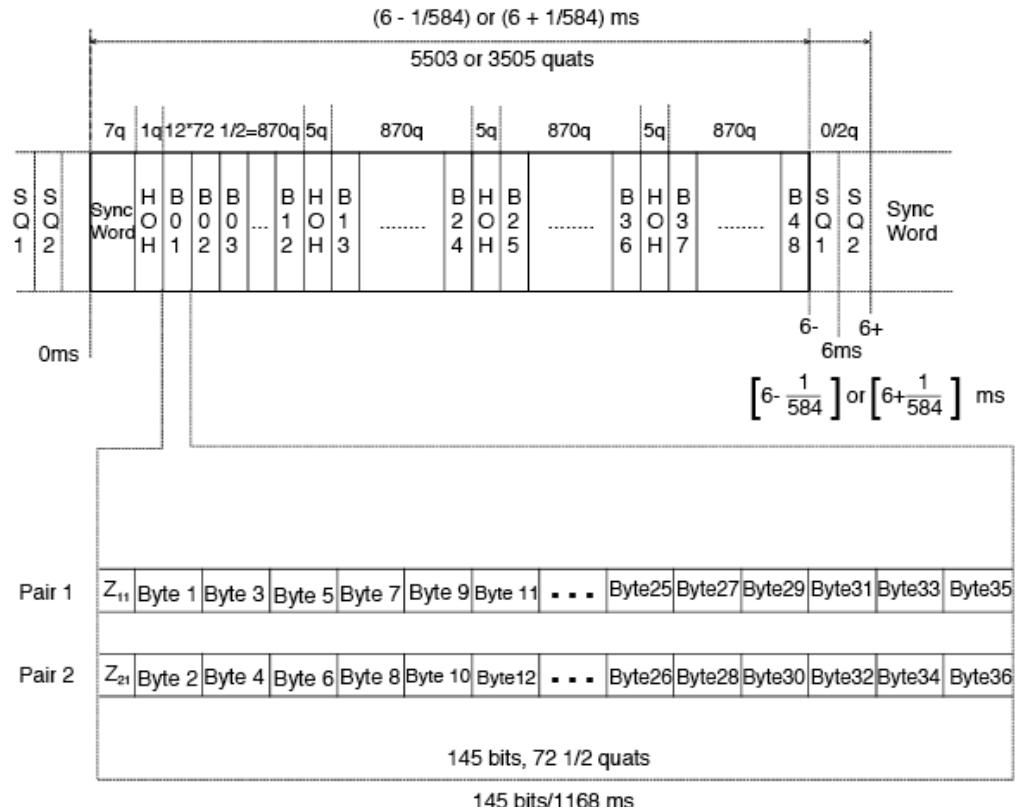
- Duração 6ms

HDSL	Kbit/s	Simb/trama	Bits/trama
1 par	2320	6960	13920
2 pares	1168	3504	7008
3 pares	784	2352	4704

Campos da trama HDSL (3 pares)

Time	Frame Bit #	HOH Bit#	Abbreviated Name	Full Name	Notes
0 ms	1-14	1-14	SW 1-14	Sync word	Double Barker Code
	15	15	losd	loss of input signal at the far end application interface	
	16	16	fobe	far end block error	
17-1 180	-----	B01-B12	Payload block 1-12	HDSL payload including $Z_{m1} \dots Z_{m12}$	
1 181	17	eoc01	eoc address		
1 182	18	eoc02	eoc address		
1 183	19	eoc03	eoc data/pcode		
1 184	20	eoc04	eoc OddEven Byte		
1 185	21	crc1	cyclic redundancy check	CRC-6	
1 186	22	crc2	cyclic redundancy check	CRC-6	
1 187	23	pt1	NTU power status bit 1	NTU -----> LTU only	
1 188	24	pt2	NTU power status bit 2	NTU -----> LTU only	
1 189	25	bpv	bipolar violation		
1 190	26	eoc05	eoc unspecified		
1 191-2 354	-----	B13-B24	Payload blocks 13-24	HDSL payload including $Z_{m13} \dots Z_{m24}$	
2 355	27	eoc06	eoc message bit 1		
2 356	28	eoc07	eoc message bit 2		
2 357	29	eoc08	eoc message bit 3		
2 358	30	eoc09	eoc message bit 4		
2 359	31	crc3	cyclic redundancy check	CRC-6	
2 360	32	crc4	cyclic redundancy check	CRC-6	
2 361	33	hrp	regenerator present	LTU <--- REG --> NTU	
2 362	34	rbe	regenerator remote block error	LTU <--- REG --> NTU	
2 363	35	rcbe	regenerator central block error	LTU <--- REG --> NTU	
2 364	36	regaa	regenerator alarm	LTU <--- REG --> NTU	
2 365-3 528	-----	B25-B36	Payload blocks 25-36	HDSL payload including $Z_{m25} \dots Z_{m36}$	
3 529	37	eoc10	eoc message bit 5		
3 530	38	eoc11	eoc message bit 6		
3 531	39	eoc12	eoc message bit 7		
3 532	40	eoc13	eoc message bit 8		
3 533	41	crc5	cyclic redundancy check	CRC-6	
3 534	42	crc6	cyclic redundancy check	CRC-6	
3 535	43	rtu	remote terminal alarm	NTU --> LTU only	
3 536	44	indc/lndr	ready to receive	indc=LTU-->NTU lndr=NTU-->LTU	
3 537	45	uit	unspecified indicator bit		
3 538	46	uit	unspecified indicator bit		
6 - 1/392 ms	3 639-4 702	-----	B37-B48	Payload blocks 37-48	HDSL payload including $Z_{m37} \dots Z_{m48}$
4 703	47	stq1s	stuff quat 1 sign	Frame stuffing	
6 ms nominal	4 704	48	stq1m	stuff quat 1 magnitude	Frame stuffing
	4 705	49	stq2s	stuff quat 2 sign	Frame stuffing
6 + 1/392 ms	4 706	50	stq2m	stuff quat 2 magnitude	Frame stuffing

Trama HDSL (2 pares)



Trama HDSL (1 par)

?

Ritmos de transmissão e overhead

HDSL	Informação		Cabeçalho Bytes	Overhead
	Bytes	Kbit/s		
3 pares	3x576	3x768	3x12	2,70%
2 pares	2x864	2x1152	2x12	1,82%
1 par	1728	2304	12	0,92%

Alcances em HDSL sobre 2 pares, sem interferências

Calibre do cabo	0,4mm	0,5mm	0,6mm	0,9mm
Alcance	3,5-4,0Km	4,0-5,0Km	5,0-6,0Km	8,0-10,0Km

- Dado o ritmo de transmissão suportado, todas as aplicações baseadas anteriormente em LTU E1 são suportadas em HDSL.
- As aplicações incluem:
 - Servidores
 - Interligação de redes privadas
 - Interligação de redes privadas a centrais públicas
 - Interligação de estações de base de redes celulares (GSM,...)
- Limitações (como em todas as tecnologias xDSL): não aplicável em linhas de cobre com compensação de indutiva.

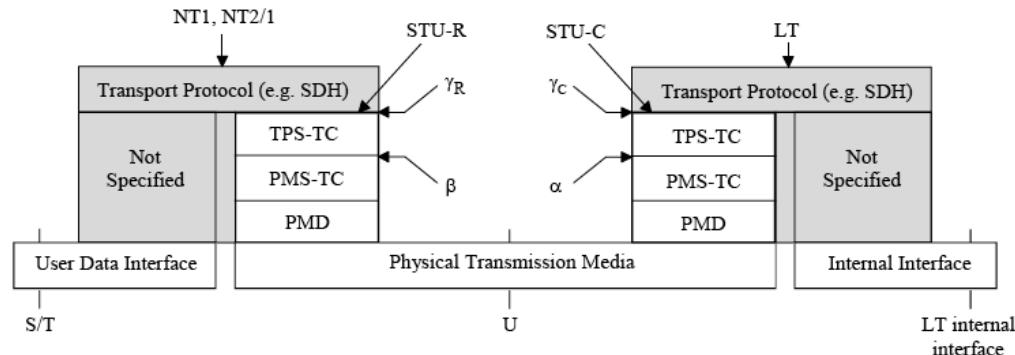
- SHDSL - Single Pair High Speed Digital Subscriber Line - ITU-T, recomendação G.991.2
 - AKA como G.SHDSL (Cisco) - Symmetrical High Data Rate Digital Subscriber Loop.
 - Normalizado em Fevereiro de 2001
 - Características
- Ritmo de transmissão ajustável em múltiplos de 8kbit/s (192kbit/s-2360kbit/s)
- Transmissão síncrona ou plesiócrona (plesiosíncrona).
- Transmissão simétrica, suporte num único par de cobre.
- Ritmos de 2Mbits/s (2,4km) a 384kbit/s (4,5km).
- Prevista a utilização de dois pares e de regeneradores.

SHDSL: protocolos

TPS-TC - Transmission Protocol Specific Transmission Convergence

PMS-TC - Physical Media Specific Transmission Convergence

PMD - Physical Media Dependent

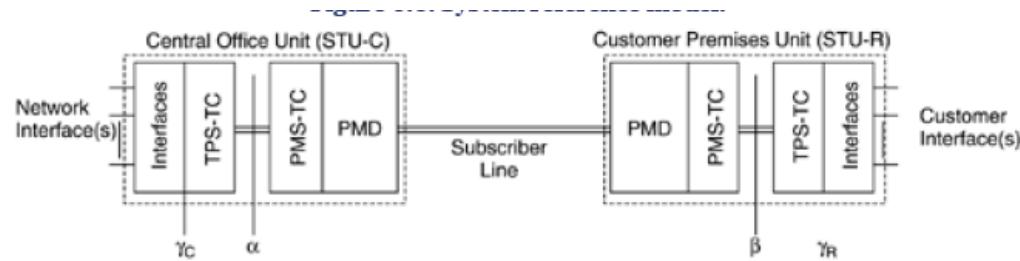


STU - SHDSL Transmit Unit

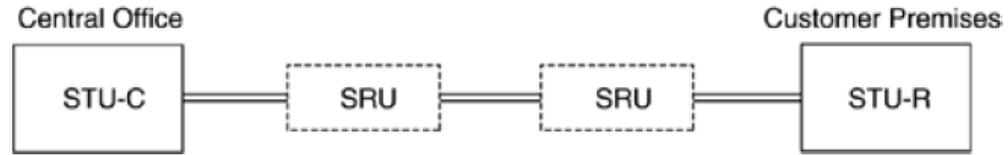
STR - SHDSL Receive Unit

- PMD - Physical Medium Dependent Layer
 - Modulação e desmodulação
 - Sincronização
 - Codificação e decodificação
 - Equalização
 - Inicialização e treino
- PMS-TC - Physical Medium Specific Transmission Convergence Layer
 - Trama, e sincronização a nível da trama
- TPS-TC - Transmission Protocol Specific Transmission Convergence Layer
 - Dependente da aplicação e configuração

SHDSL: Ligação a 1 par

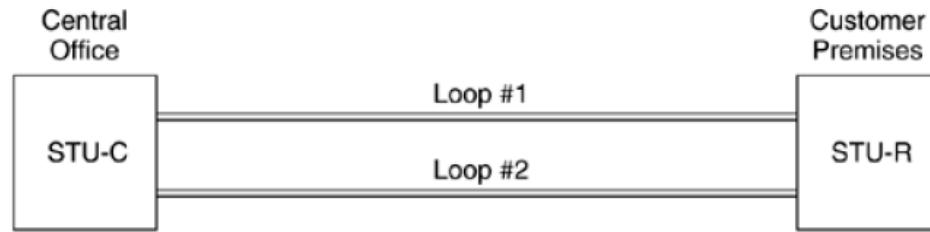


SHDSL: Ligação com regenerador



SRU - SHDSL Regeneration Unit

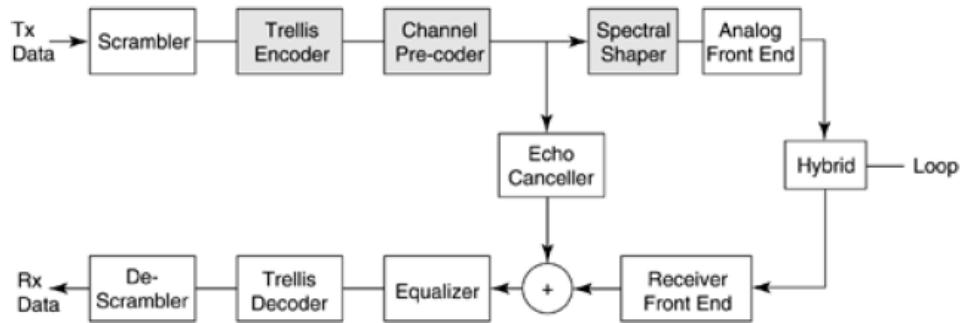
SHDSL: Ligação a 2 pares



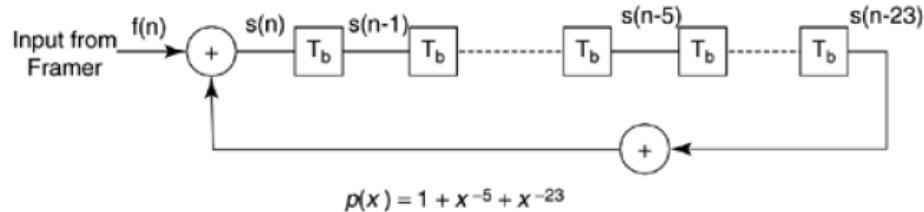
Camada PMD - Physical Medium Dependent Layer

Ritmo=192Kb/s a 2312kb/s em incrementos de 8Kb/s.

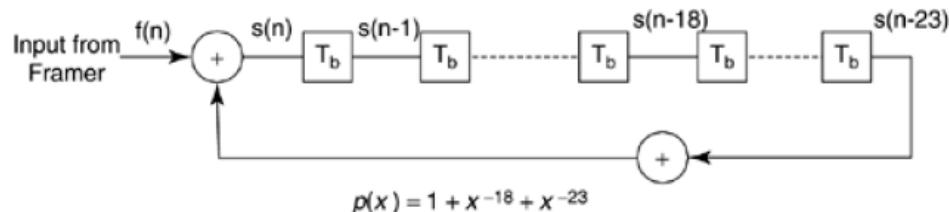
SHDSL: Diagrama de recepção/emissão



SHDSL: scramblers

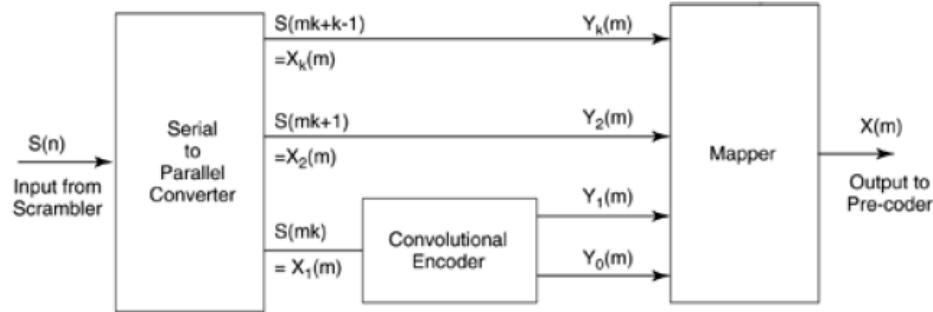


Scrambler *downstream*



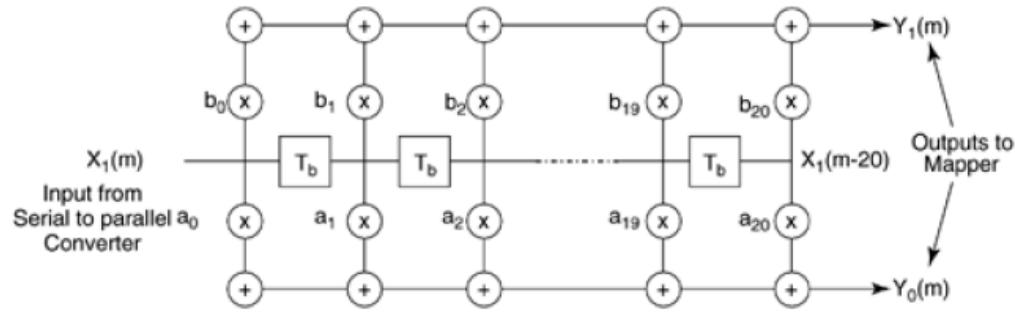
Scrambler *upstream*

SHDSL: Codificação Trellis



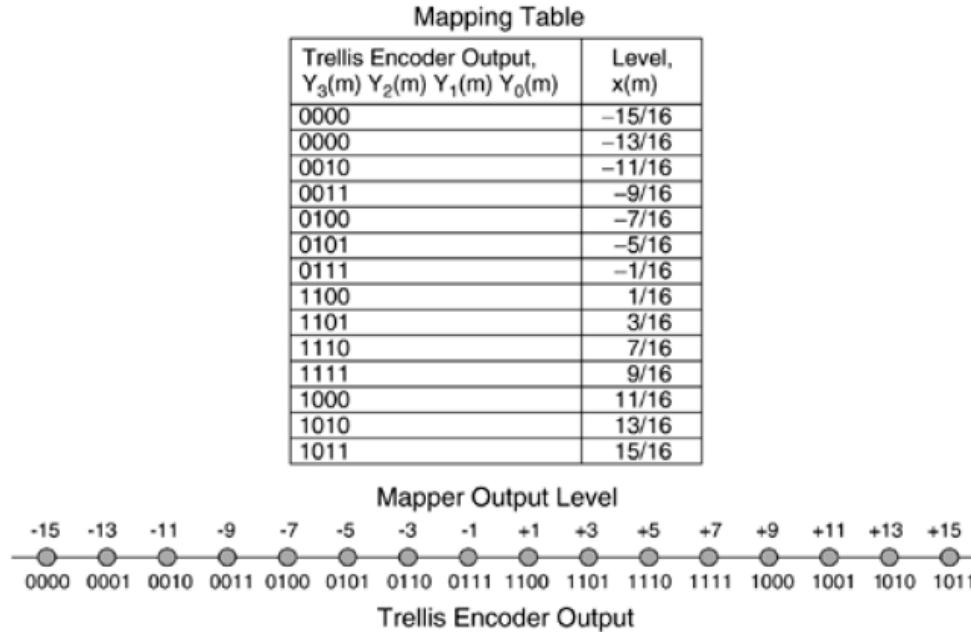
SHDSL: Codificador convolucional

$$P_a(x) = a_0 + a_1x^{-1} + a_2x^{-2} + \dots + a_{20}x^{-20}$$

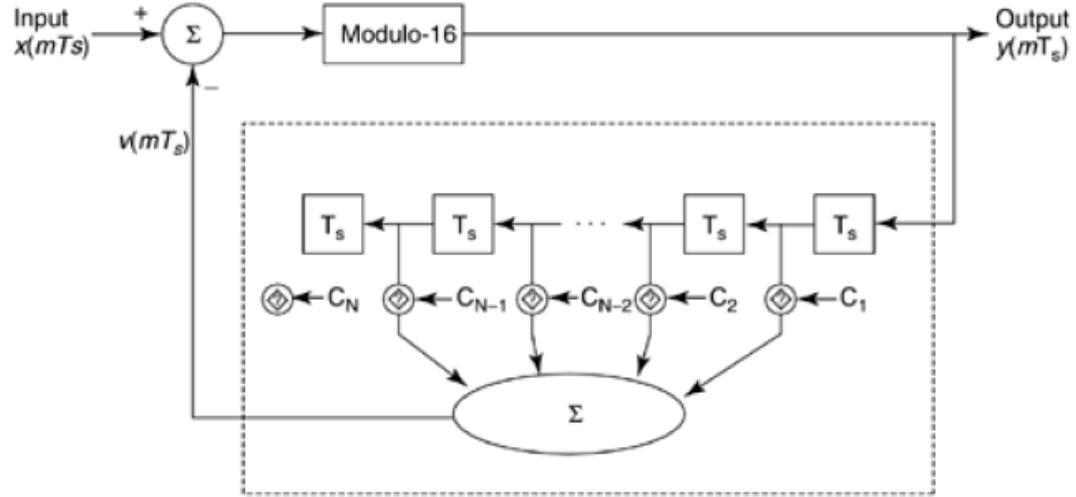


$$P_b(x) = b_0 + b_1x^{-1} + b_2x^{-2} + \dots + b_{20}x^{-20}$$

SHDSL: encoder



SHDSL: precoder

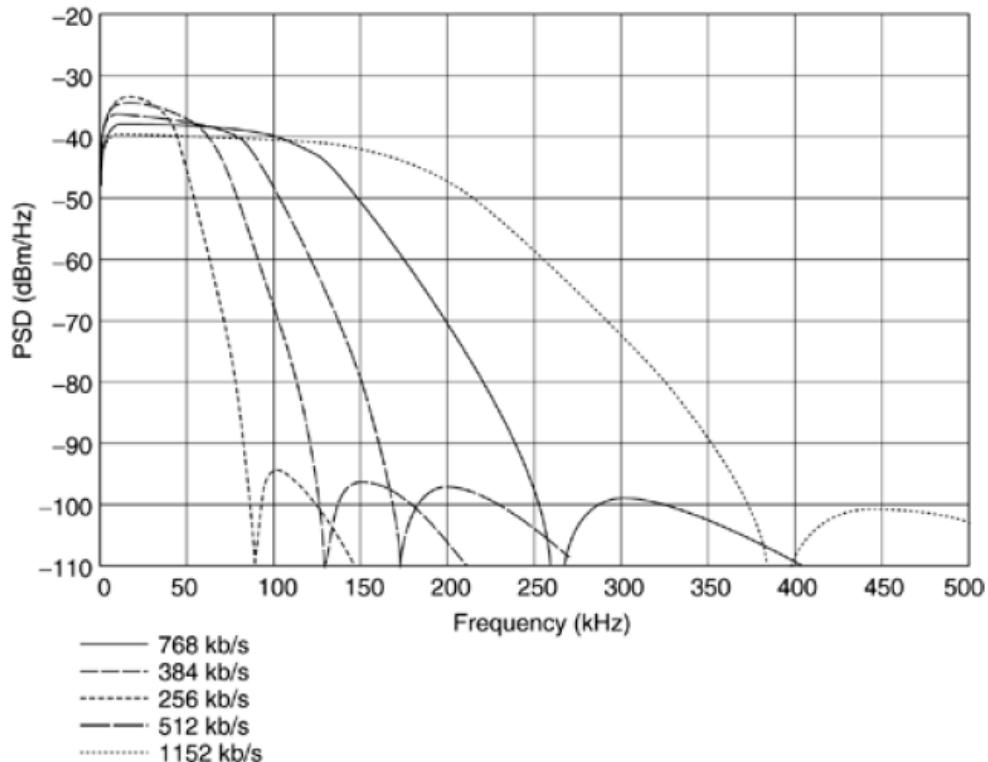


SHDSL: Filtragem

$$PSD_{SHDSL}(f) = \begin{cases} 10^{-\frac{PBO}{10}} \cdot \frac{K_{SHDSL}}{135} \cdot \frac{1}{f_{sym}} \cdot \left[\sin\left(\frac{\pi f}{N_{sym}}\right) \right]^2 \cdot \frac{1}{\left(\frac{\pi f}{Nf_{sym}}\right)^2 \cdot 1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^{2-Order}} \\ \cdot \frac{f^2}{f^2 + f_c^2}, \quad f < f_{intercept} \\ 0.5683 \cdot 10^{-4} \cdot f^{-3/2}, \quad f_{intercept} \leq 1.1\text{MHz} \end{cases}$$

- PBO defines the amount of power backoff in dB
- K_{SHDSL} is a PSD scaling coefficient
- f_{sym} is the symbol rate, which is one third the line bit rate
- N is a PSD shaping factor, set equal to 1 for all bit rates
- f_{3dB} is the shaping filter 3 dB cutoff frequency
- $Order$ is the order of the low pass shaping filter, which is 6 for 16-level TC-PAM
- f_c is the cutoff frequency of the high coupling filter
- $f_{intercept}$ is the frequency where the two functions in the PSD equation intercept in the frequency range of f_{sum}

SHDSL: Filtragem em TCM



SHDSL: Filtragem em 2B1Q

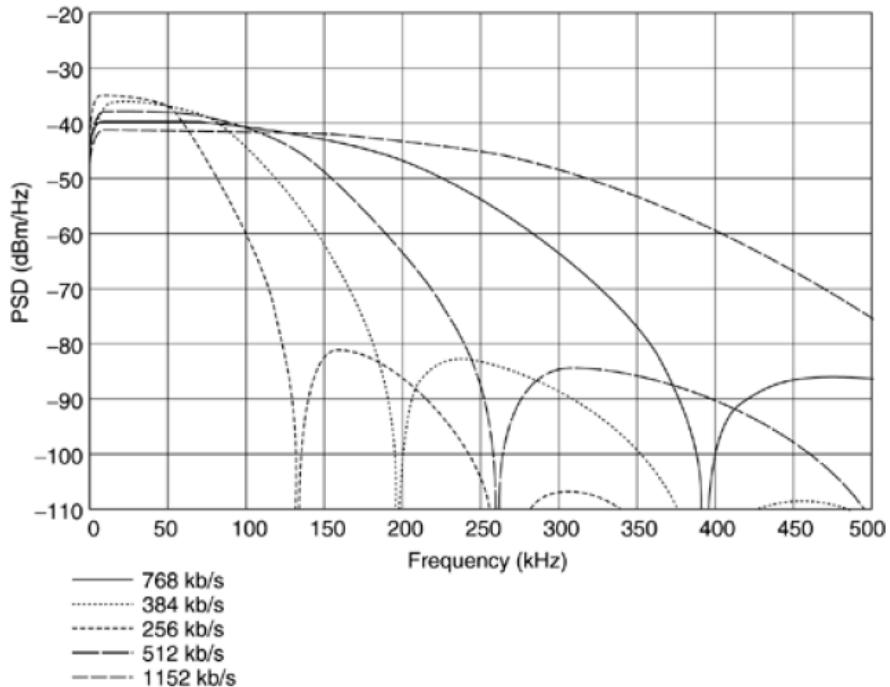
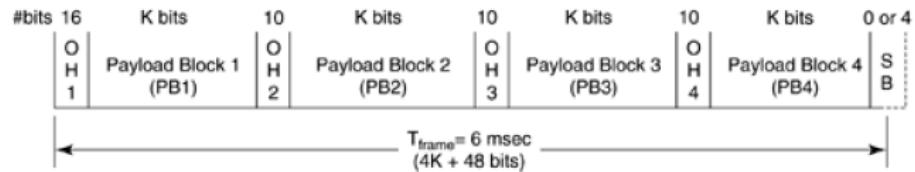


Figure 6.19. SHDSL core frame structure.

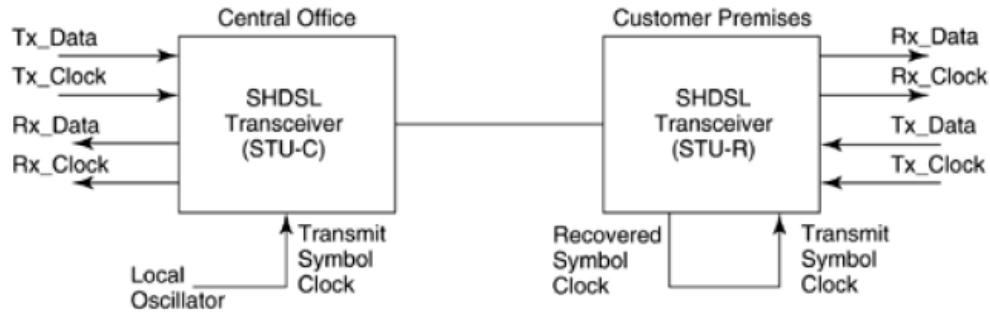


SHDSL: Ritmos de transmissão

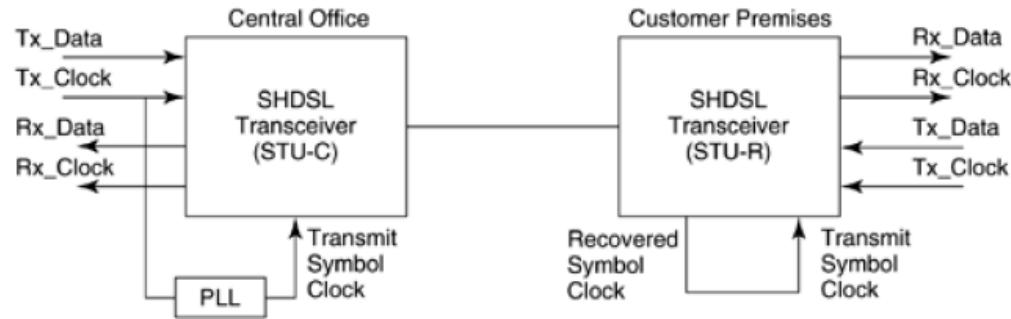
Tabela 4.2 – Ritmos de SHDSL

Tipo de bits	Channel Type	Número de bits numa trama de 6 ms	Débito
Frame bits	Overhead	48 / 48 +/- 2	8 kbit/s
Payload bits	B-channel ($n \times 64$ kbit/s) ($n = 3...36$)	$n \times 48 \times 8$	$n \times 64$ kbit/s
	Z-bits ($i \times 8$ kbit/s) ($i = 0...7$)	$i \times 48$	$i \times 8$ kbit/s
Número total de bits na trama		$48 \times (1 + i + n \times 8)$	$(n \times 64 + i \times 8 + 8)$ kbit/s

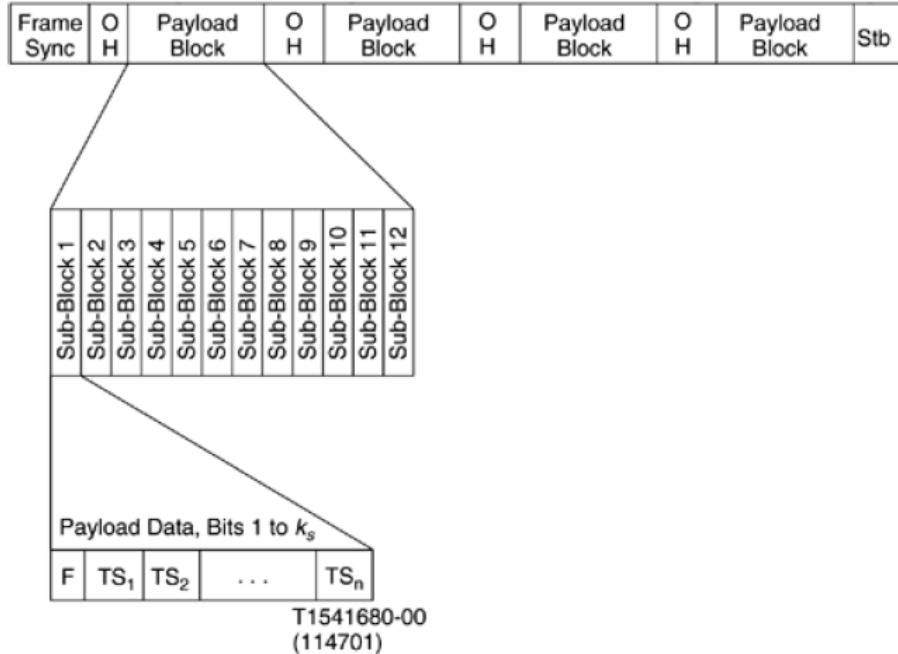
SHDSL: Timing: modo plesiocrono



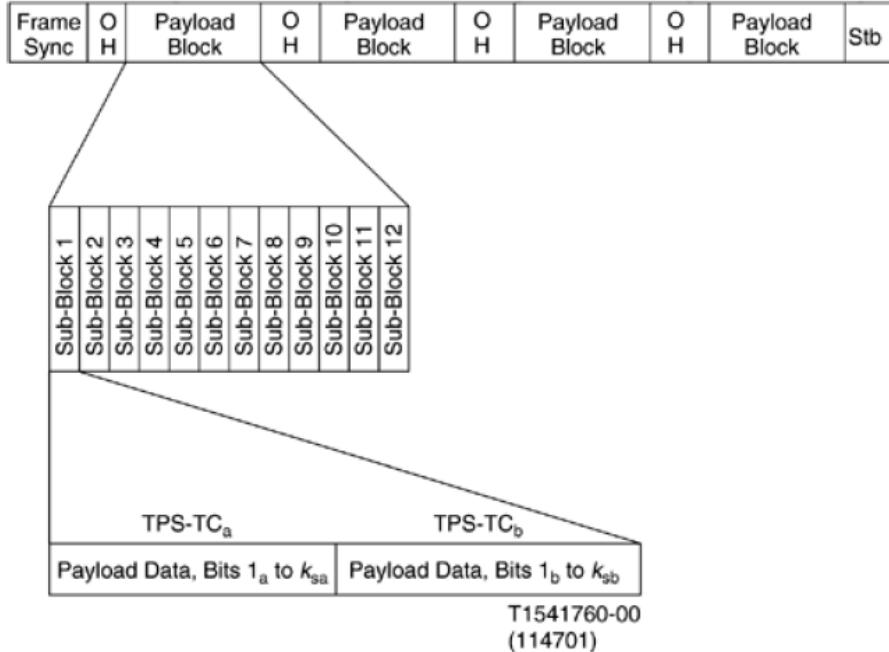
SHDSL: Timing: modo sincrono



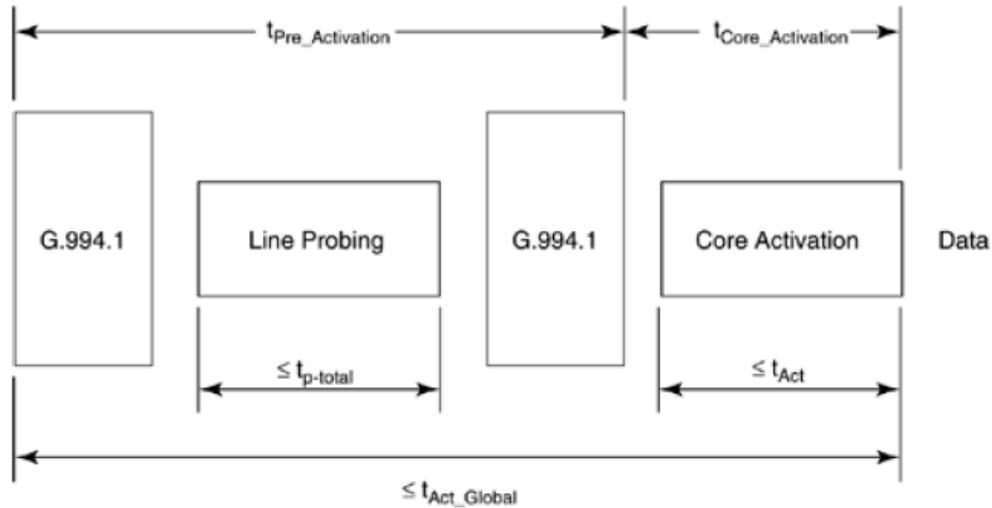
Camada TPS-TC - Transmission Protocol specific-transmission convergence layer



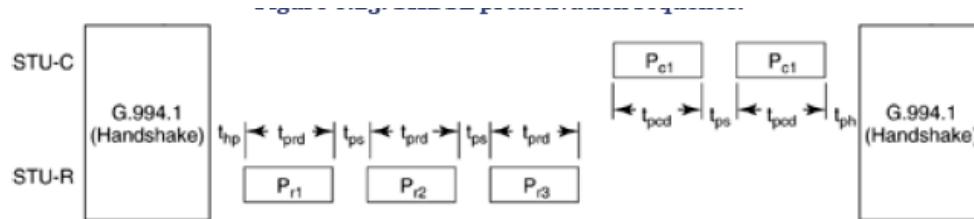
SHDSL: Camada TPS-TC



SHDSL: Activação

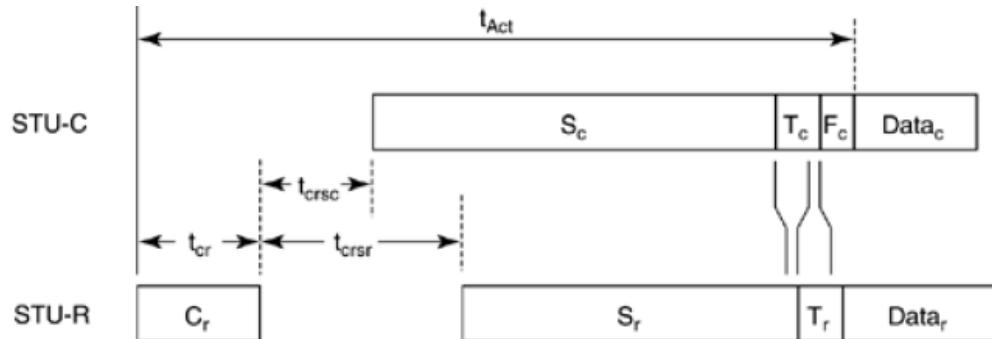


SHDSL: Pré-Activação



?

SHDSL: Activação do Core



?